

**ANALISIS SISTEM PROTEKSI PETIR
JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA PENYULANG MJO 8
PT. PLN (PERSERO) ULP BOYOLALI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

MUHAMMAD ZAHRUL MAULANA

D400170123

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS SISTEM PROTEKSI PETIR
JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA PENYULANG MJO 8
PT. PLN (PERSERO) ULP BOYOLALI**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

MUHAMMAD ZHRUL MAULANA

D400170123

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

 100 2/6-21

ARIS BUDIMAN, S.T., M.T.

NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS SISTEM PROTEKSI PETIR
JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA PENYULANG MJO 8
PT. PLN (PERSERO) ULP BOYOLALI**

OLEH

MUHAMMAD ZAHRUL MAULANA

D400170123

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Prodi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 13 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Aris Budiman, S.T., M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Umar, S.T., M.T
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Agus Supardi, S.T., M.T
(Anggota II Dewan Penguji)

()
()
()



Dekan,


Sunarjono, M.T., Ph.D.

NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 1 Juni 2021

Penulis



MUHAMMAD ZAHRUL MAULANA

D400170123

**ANALISIS SISTEM PROTEKSI PETIR
JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA PENYULANG MJO 8
PT. PLN (PERSERO) ULP BOYOLALI**

Abstrak

PT. PLN (persero) ULP Boyolali merupakan unit layanan pelanggan yang melayani kebutuhan listrik di daerah Boyolali, serta melakukan perawatan, dan perbaikan pada jaringan tegangan menengah 20 kV yang didistribusikan dari dua gardu induk yaitu gardu induk Mojosongo dan gardu induk Banyudono. Kebutuhan utama sehari-hari warga Indonesia yang tak bisa terlepas dari listrik membuat proses distribusi menjadi krusial agar semua warga Indonesia bisa merasakan kehadiran energi listrik. Dibutuhkan sebuah sistem yang mendukung agar pasokan listrik dapat terdistribusi dengan baik. Pada proses distribusi di wilayah Indonesia terdapat berbagai kemungkinan gangguan, salah satunya gangguan petir. Gangguan petir dapat menyebabkan kerusakan pada saluran distribusi dan menghambat distribusi jaringan listrik. Sambaran petir dikategorikan menjadi dua yaitu sambaran langsung dan sambaran tak langsung. Jenis sambaran langsung yaitu sambaran yang langsung mengenai kabel fasa atau kawat tanah. Sambaran tidak langsung terjadi ketika petir menyambar dan mengenai benda di sekeliling kabel distribusi. Wilayah geografis Indonesia yang berada di ekuator yang panas dan lembab, menyebabkan Indonesia mempunyai hari sambaran petir yang tinggi. Indonesia mengalami minimal 100 hari per tahun (Hutahuruk, 1988). Pada jaringan distribusi 20 kV area Boyolali dalam kurun waktu Januari – Mei tahun 2021 terdapat tiga penyulang yang terkena gangguan petir. Kawat tanah serta arrester digunakan sebagai proteksi terhadap jaringan di area Boyolali. Perkiraan jumlah gangguan terhadap sambaran induksi atau sambaran secara tidak langsung tanpa kawat tanah sebesar 58,71 kali sambaran per 100 km per tahun, sedangkan jika menggunakan kawat tanah perkiraan jumlah gangguan sebanyak 41,74 kali per 100 km per tahun. terdapat perbedaan hingga 16,97% untuk sambaran induksi. perkiraan jumlah gangguan sambaran secara langsung tanpa kawat tanah 63,12 kali sambaran per 100 km per tahun, sedangkan jika menggunakan kawat tanah 30,54 kali sambaran per 100 km per tahun. Terdapat perbedaan hingga 32,58% . Selain itu proteksi menggunakan arrester dengan tegangan pengenalan 21 kV dan arus pelepasan 10 kA.

Kata kunci : sistem proteksi, kawat tanah, arrester

Abstract

PT. PLN (persero) ULP Boyolali is a customer service unit that serves the needs of electricity in the boyolali area, as well as carrying out maintenance, and repairs to the medium voltage network of 20 kV distributed from two substations namely Mojosongo substation and Banyudono substation. The main daily needs of Indonesians who can not be separated from electricity make the distribution process become important so that all Indonesians can feel the presence of electric energy. Then a supporting system is needed so that the electricity supply can be distributed properly. In the distribution process in the territory of Indonesia there are a lot of disturbances, one of which is lightning disruption. Lightning interference can cause damage to distribution channels and impede the distribution of power grids. Lightning strikes are categorized into two, namely

direct strikes and indirect strikes. The type of direct strike is a direct strike that hits the phase cable or the protective cable. An indirect strike occurs when lightning strikes objects around the distribution cable. The geographical area of Indonesia which is in the equator is hot and humid, causing Indonesia to have a high lightning strike day. Indonesia experiences at least 100 days per year (Hutahuruk, 1988). In the distribution network of 20 kV Boyolali area within the period January - May 2021 there are 3 refiners affected by lightning. Ground wire and arrester are used as protection against tissues in the Boyolali area. The estimated number of interruptions to induction strikes or indirect strikes without ground wire amounted to 58,71 times strikes per 100 km per year, while if using ground wire the estimated number of disturbances as much as 41,74 times per 100 km per year. there is a difference of up to 16,97% for induction strikes. The estimated number of direct strike disturbances without ground wire is 73.57 strikes per 100 km per year, while if using ground wire 30.54 times strikes per 100 km per year. There is a difference of up to 32,58 % . In addition, protection uses an arrester with an identifying voltage of 21 kV and a release current of 10 kA.

Keywords : protection system, ground wire, arrester

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam menunjang kegiatan manusia sehari-hari. Energi listrik dibangkitkan di pembangkit listrik lalu disalurkan ke gardu induk masing-masing daerah kemudian didistribusikan ke masyarakat untuk digunakan.

Proses distribusi listrik dari satu wilayah ke wilayah lain di Indonesia, dimungkinkan akan mengalami banyak gangguan. Salah satu gangguannya adalah sambaran petir. Sambaran petir disebabkan wilayah Indonesia yang berada di ekuator yang menyebabkan Indonesia mengalami hari petir yang lebih banyak dari negara lain yaitu sekitar minimal 100 hari per tahun (Gunawan et al, 2020).

Sambaran petir dibagi menjadi dua macam yaitu, sambaran langsung dan sambaran tak langsung. Sambaran langsung yaitu sambaran petir yang langsung mengenai kawat fasa maupun kawat tanah dari jaringan distribusi. Sedangkan sambaran tak langsung yaitu sambaran yang tidak secara langsung mengenai jaringan distribusi maupun pengamanan melainkan mengenai benda atau objek di sekitar jaringan distribusi dan menimbulkan efek terhadap jaringan distribusi (Sudarmojo, 2017).

Pentingnya jaringan distribusi serta bahaya yang ditimbulkan oleh sambaran petir terhadap jaringan distribusi, membuat proteksi terhadap jaringan distribusi sangat penting digunakan.

Tujuan proteksi terhadap gangguan petir di jaringan distribusi adalah salah satu bentuk pengamanan terhadap jaringan yang ada dari tegangan lebih petir, untuk mencegah tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap manusia. Adanya proteksi ini diharapkan dapat meminimalisir bahaya serta kerugian yang diakibatkan rusaknya peralatan pada jaringan distribusi atau terganggunya pelayanan penyaluran listrik ke masyarakat.

Sambaran petir pada jaringan tegangan menengah memiliki resiko yang tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan saluran udara tegangan tinggi, karena faktor tinggi dari tiang penyangga jaringan tersebut. Sambaran petir yang berpengaruh serta berpotensi menyebabkan gangguan yaitu sambaran langsung dan sambaran tidak langsung atau sambaran induksi (Datsios et al, 2014).

Jaringan distribusi 20 kV pada penyulang MJO 8 Boyolali menggunakan kawat tanah dan *lightning arrester* sebagai proteksi pertama terhadap gangguan petir baik secara langsung maupun tidak langsung. Dalam sistem proteksi pentanahan saluran udara tegangan menengah digunakan untuk menetralkan kawat tanah yang berada pada ketinggian tertentu serta menyalurkan tegangan maupun arus lebih ke tanah (Oktaviani, dan Hati, 2019). Sehingga tidak ada arus berlebih yang dapat membahayakan manusia maupun lingkungan di sekitar jaringan tegangan menengah

2. METODE

2.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah pertama untuk penelitian ini, dimana penulis mencari jurnal, artikel, data serta mempelajari buku-buku sebagai bahan referensi yang berhubungan dengan topik penelitian tugas akhir.

2.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di PT. PLN (Persero) ULP Boyolali. Penelitian dilakukan dengan mengambil data ke lapangan secara langsung serta wawancara dengan teknisi yang ada.

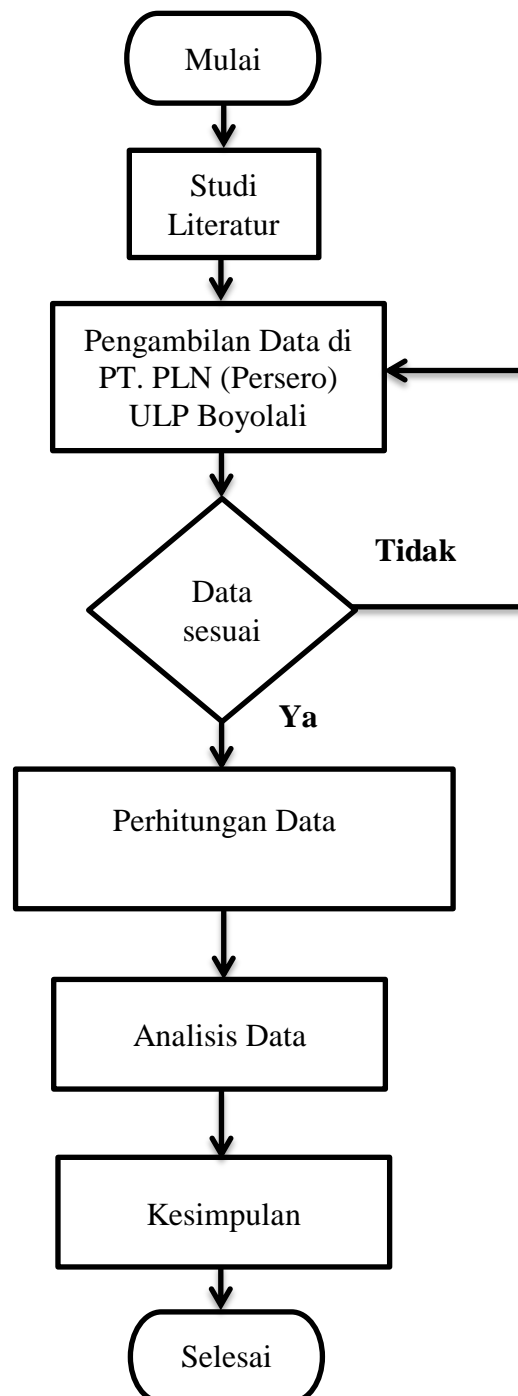
2.3 Pengolahan Data

Pengolahan dilakukan dengan cara menghitung data yang telah didapatkan dari hasil penelitian.

2.4 Analisa Hasil

Dari hasil perhitungan serta data lapangan yang didapatkan kemudian akan di analisa dan diambil kesimpulan dari hasil penelitian ini.

2.5 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data yang diperoleh melalui hasil wawancara dengan pihak PT. PLN (Persero) ULP Boyolali tentang gangguan sambaran petir terhadap jaringan distribusi dalam kurun waktu bulan Januari 2021 sampai dengan Mei 2021 didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1 Data Sambaran Petir

Bulan	Jumlah Gangguan	Tempat
Januari	0	-
Februari	0	-
Maret	3	MJO 5 & MJO 8
April	2	MJO 8 & MJO 3
Mei	0	-

sumber : PT. PLN (persero) ULP Boyolali

Pada data sambaran petir yang terjadi pada penyulang MJO 8 mengalami sambaran sebanyak 3 kali. Sebagai perlindungan terhadap sambaran petir secara langsung maupun secara tidak langsung pada jaringan distribusi MJO 8 digunakan *arrester* dan kawat tanah.

Data kawat tanah dan *arrester* jaringan SUTM 20 kV dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2 Tabel data pengamatan lapangan kawat tanah dan *arrester*

Spesifikasi	Nilai
Tinggi kawat fasa	9,00 m
Tinggi kawat tanah	10,20 m
Jarak vertikal kawat tanah dengan kawat fasa	1,2 m
Jarak horizontal antara fasa 1 dan fasa 3	1,9 m
Diameter kawat tanah	70 mm
Jenis kawat tanah	AAAC
Berat kawat tanah	0,208 kg/m
Tegangan renggangan penghantar	198 daN
Lebar penyangga beton	2,5 m
Tegangan Pengenal <i>arrester</i>	21 kV
Arus <i>arrester</i>	10 kA

sumber : PT. PLN (persero) ULP Boyolali

3.1 Perhitungan Kemungkinan Jumlah Gangguan Akibat Sambaran Induksi

Besarnya gangguan tergantung dari besar probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api, η . Besar nilai η adalah 0,5 serta ketahanan impuls isolasi $V_{50\%}$ yaitu 160 kV (Hutahuruk, 1988). Gangguan petir akibat sambaran secara tidak langsung (gangguan per 100 km per tahun) dengan jumlah hari guruh (IKL) 100 diketahui sebagai berikut :

3.1.1 Menghitung tegangan induksi tanpa kawat tanah

$$V_I = \frac{30 \times I_o \times h}{y} \dots\dots\dots(1)$$

dengan

V_i = Tegangan induksi pada kawat fasa (kV)

I_o = Nilai puncak arus pada saat sambaran (kA)

h = Tinggi kawat fasa dari tanah (m)

y = Jarak horizontal sambaran dengan kawat fasa (m)

Jadi tegangan induksi tanpa kawat tanah yaitu :

$$\begin{aligned} V_I &= \frac{30 \times I_o \times h}{y} \\ &= \frac{30 \times 40 \times 9,00}{30} \\ &= 360 \text{ kV} \end{aligned}$$

3.1.2 Jumlah kemungkinan lompatan api (*flashover*) tanpa kawat tanah

$$N_{FL} = 30,6 \times IKL \times h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \times h^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \dots\dots\dots(2)$$

dengan

IKL = Jumlah hari guruh (Indonesia 100 sambaran per tahun)

h = Tinggi kawat fasa (m)

$V_{50\%}$ = Tahanan impuls isolasi (kV)

Jadi jumlah kemungkinan lompatan api tanpa kawat tanah yaitu :

$$\begin{aligned} N_{FL} &= 30,6 \times IKL \times h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \times h^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \\ &= 30,6 \times 100 \times 9,00 \frac{e^{-\left(\frac{160}{510} \times 9,00^{0.09}\right)}}{160 \text{ kV}} \\ &= 117,43 \text{ kali per 100 km per tahun} \end{aligned}$$

3.1.3 Besar gangguan yang terjadi akibat sambaran induksi tanpa kawat tanah

$$N_i = 30,6 \times I_{KL} \times h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \times h^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \quad \dots\dots\dots(3)$$

dengan

η = Probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api (0,5)

Jadi kemungkinan banyaknya gangguan karena sambaran induksi tanpa kawat tanah yaitu :

$$\begin{aligned} N_i &= 30,6 \times I_{KL} \times h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \times h^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \\ &= 30,6 \times 100 \times 9,00 \frac{e^{-\left(\frac{160}{510} \times 9,00^{0.09}\right)}}{160 \text{ kV}} \times 0,5 \\ &= 58,71 \text{ kali per 100 km per tahun} \end{aligned}$$

3.1.4 Tegangan induksi dengan kawat tanah

$$V_{\text{induksi}} = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \times \frac{h_2}{h_1}\right) V_i \quad \dots\dots\dots(4)$$

dengan

V_{induksi} = Tegangan induksi jika memakai kawat tanah (kV)

Z_{12} = Impedansi kawat fasa dan kawat tanah (Ohm)

Z_{22} = Impedansi kawat tanah (Ohm)

h_2 = Tinggi kawat tanah (m)

R = Hambatan kontak tiang beton (20 Ohm)

h_1 = Tinggi kawat fasa (m)

V_i = Tegangan induksi pada kawat fasa (kV)

Jadi besarnya tegangan induksi dengan kawat tanah yaitu :

$$\begin{aligned} V_{\text{induksi}} &= \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \times \frac{h_2}{h_1}\right) V_i \\ &= \left(1 - \frac{129,18}{2 \times 20 + 360,67} \times \frac{10,20}{9,00}\right) 360 \\ &= 226,8 \text{ kV} \end{aligned}$$

3.1.5 Faktor Perisai kawat tanah

$$\begin{aligned} FP &= 1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \times \frac{h_2}{h_1} \quad \dots\dots\dots(5) \\ FP &= 1 - \frac{129,18}{2 \times 20 + 360,67} \times \frac{10,2}{9,00} \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

3.1.6 Jumlah kemungkinan lompatan api (*flashover*) dengan kawat tanah

$$\begin{aligned}
N_{FL} &= 30,6 \times I_{KL} \times FP \times h_2 \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \times h_2^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \dots\dots\dots(6) \\
&= 30,6 \times 100 \times 0,63 \times 10,20 \frac{e^{-\left(\frac{160}{510} \times 10,20^{0.09}\right)}}{160 \text{ kV}} \\
&= 83,48 \text{ kali per 100 km per tahun}
\end{aligned}$$

3.1.7 Jumlah kemungkinan gangguan sambaran induksi yang terjadi dengan kawat tanah

$$\begin{aligned}
N_i &= 30,6 \times I_{KL} \times FP \times h_2 \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} \times h_2^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \dots\dots\dots(7) \\
&= 30,6 \times 100 \times 0,63 \times 10,20 \frac{e^{-\left(\frac{160}{510} \times 10,20^{0.09}\right)}}{160 \text{ kV}} \times 0,5 \\
&= 41,74 \text{ kali per 100 km per tahun}
\end{aligned}$$

3.2 Perhitungan Jumlah Gangguan Akibat Sambaran Secara Langsung

Sambaran petir secara langsung dapat mengenai kawat tanah maupun kawat fasa apabila tidak terdapat kawat tanah. Maka untuk saluran yang tidak menggunakan kawat tanah probabilitas terkena gangguan akan lebih banyak serta lebih membahayakan untuk sistem distribusi. Arus maksimal diasumsikan 40 kA.

3.2.1 Besar arus kilat pada tempat sambaran tanpa kawat tanah

$$I = \frac{I_0}{2} \dots\dots\dots(8)$$

dengan

I_0 = Arus maksimal pada saat sambaran (kA)

I = Arus pada tempat sambaran (kA)

Jadi besar arus pada tempat sambaran tanpa menggunakan kawat tanah yaitu :

$$\begin{aligned}
I &= \frac{I_0}{2} \\
&= \frac{40}{2} \\
&= 20 \text{ kA}
\end{aligned}$$

3.2.2 Tegangan yang timbul pada kawat

$$V_p = \frac{I_0}{4} Z_p \dots\dots\dots(9)$$

dengan

V_p = Tegangan yang timbul pada kawat (kV)

Z_p = Impedansi surja $Z_p = Z_{22}$ (Ohm)

Tegangan yang timbul pada kawat adalah sebesar :

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{I_o}{4} Z_p \\ &= \frac{40}{4} 360,67 \\ &= 36067 \text{ kV} \end{aligned}$$

3.2.3 Jumlah kemungkinan sambaran kilat terjadi tanpa kawat tanah

$$N_L = 0,015 \times I_{KL} (b + 4h_2^{1,09}) \dots\dots\dots(10)$$

dimana

b = Jarak antara fasa 1 dan 3 (m)

Maka jumlah kemungkinan sambaran yang terjadi tanpa kawat tanah

$$\begin{aligned} N_L &= 0,015 \times I_{KL} (b + 4h^{1,09}) \\ &= 0,015 \times 100 \times (1,9 + 4 \times 9,00^{1,09}) \\ &= 67,15 \text{ kali sambaran per 100 km per tahun} \end{aligned}$$

3.2.4 Jumlah kemungkinan sambaran dapat menimbulkan gangguan tanpa kawat tanah

$$\begin{aligned} N_t &= N_L \times P_{FL} \\ &= 67,15 \times e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{8,5 \times Z_p}\right)} \\ &= 67,15 \times e^{-\left(\frac{160}{8,5 \times 360,67}\right)} \\ &= 67,15 \times 0,94 \\ &= 63,12 \text{ gangguan per 100 km per tahun} \end{aligned}$$

3.2.5 Menghitung impedansi surja tiang (Z_t)

$$Z_t = 60 \ln \left[\frac{h}{r_2} \right] + 90 \left[\frac{h}{r_2} \right] - 60 \dots\dots\dots(11)$$

dengan

r_2 = Jari-jari tiang beton (m)

maka impedansi surja tiang :

$$\begin{aligned} Z_t &= 60 \ln \left[\frac{h}{r_2} \right] + 90 \left[\frac{h}{r_2} \right] - 60 \\ &= 60 \ln \left[\frac{9,00}{0,1815} \right] + 90 \left[\frac{9,00}{0,1815} \right] - 60 \\ &= 4637,03 \text{ ohm} \end{aligned}$$

3.2.6 Menghitung impedansi surja (Z_g) kawat tanah

$$Z_g = 60 \ln \left[\frac{2h_2}{r} \right] \quad \dots\dots\dots(12)$$

dengan

r = Jari-jari kawat tanah (m)

Maka impedansi surja kawat tanah

$$\begin{aligned} Z_g &= 60 \ln \left[\frac{2h_2}{r} \right] \\ &= 60 \ln \left[\frac{2 \times 10,20}{0,05} \right] \\ &= 360,67 \text{ ohm} \end{aligned}$$

3.2.7 Besar arus minimum yang dapat mengakibatkan lompatan api

$$I_0 = \frac{V_{50\%}}{R + \delta h_t} \quad \dots\dots\dots(13)$$

Dengan

δ = koefisien satu kawat tanah

Maka :

$$\begin{aligned} I_0 &= \frac{V_{50\%}}{R + \delta h_t} \\ &= \frac{160}{20 + 0,3 \times 10,2} \\ &= 6,9 \text{ kA} \end{aligned}$$

3.2.8 Kemungkinan terjadinya sambaran kilat dengan kawat tanah

$$\begin{aligned} P_{FL} &= e^{-\left(\frac{I_0}{34}\right)} \\ &= e^{-\left(\frac{6,9}{34}\right)} \\ &= 0,81 \\ N_L &= 0,015 \times I_{KL} \times (b + 4 h^{1,09}) \\ &= 0,015 \times 100 \times (0 + 4 \times 10,20^{1,09}) \\ &= 75,42 \text{ kali sambaran per 100 km per tahun} \end{aligned}$$

3.2.9 Jumlah kemungkinan gangguan sambaran langsung dengan kawat tanah

$$\begin{aligned} N_t &= N_L \times P_{FL} \times \eta \\ &= 75,42 \times 0,81 \times 0,5 \\ &= 30,54 \text{ gangguan per 100 km per tahun} \end{aligned}$$

3.3 Daerah Perisai Saluran Distribusi

3.3.1 Menghitung tinggi andongan

$$D = \frac{W \times S^2}{8 \times T} \dots\dots\dots(14)$$

Dengan

w = Berat kawat konduktor tanah (kg/m)

S = Jarak antar tiang distribusi (m)

T = Tegangan renggangan mendatar penghantar (daN)

Maka tinggi andongan :

$$\begin{aligned} D &= \frac{W \times S^2}{8 \times T} \\ &= \frac{0,208 \times 50^2}{8 \times 198} \\ &= 32 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.3.2 Tinggi rata – rata dari kawat tanah

$$\begin{aligned} h &= h_2 - \frac{2}{3} \times D \\ &= 10,20 - \frac{2}{3} \times 0,32 \\ &= 9,98 \text{ m} \end{aligned}$$

3.3.3 Daerah peerlindungan jika memakai kawat tanah

$$\begin{aligned} w &= b + 4 \times h^{1,09} \\ &= 0 + 4 \times 9,98^{1,09} \\ &= 49,10 \text{ m} \end{aligned}$$

3.3.4 Daerah perisai jika tidak memakai kawat tanah

$$\begin{aligned} w &= b + 4 \times h^{1,09} \\ &= 1,9 + 4 \times 9,00^{1,09} \\ &= 45,77 \text{ m} \end{aligned}$$

3.3.5 Sudut perlindungan antara kawat fasa dan kawat tanah

$$x = \sin^{-1}\left(\frac{b}{a_1}\right) \dots\dots\dots(15)$$

dengan :

a₁ = panjang kemiringan antara kawat fasa dan kawat tanah

Maka sudut perlindungannya adalah :

$$x = \sin^{-1}\left(\frac{b}{a_1}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{1,9}{2,24}\right)$$

$$= 58,018^{\circ}$$

Hasil perhitungan yang ada diatas menunjukkan bahwa kawat tanah dapat menjadi proteksi dalam jaringan distribusi terhadap gangguan petir baik secara langsung maupun secara induksi dengan sudut lindung 58,018° dan dengan cakupan daerah lindungan 49,10 m

Berikut ini adalah perbandingan perlindungan terhadap gangguan petir di antara menggunakan kawat tanah dan tidak menggunakan kawat tanah.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Perlindungan Kawat Tanah

Aspek Perhitungan	Tanpa Kawat Tanah	Dengan Kawat Tanah
Gangguan sambaran petir tidak langsung / induksi	58,71	41,74
Gangguan sambaran petir secara langsung	63,12	30,54
Daerah perlindungan	45,77	49,3
Faktor perlindungan	-	0,64
Sudut perlindungan	-	58,018°

Hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel terdapat perbedaan yang cukup besar apabila perlindungan gangguan petir secara langsung maupun tidak langsung tidak menggunakan kawat tanah pada saluran jaringan tegangan menengah 20 kV.

3.4 Perhitungan *Arrester*

Arrester akan dianggap mengalami kegagalan dalam proteksi apabila bekerja melebihi setengah dari tegangan puncaknya (Rahayu. dan Ansyori. 2014)

3.4.1 Tegangan Pengenal *Arrester*

Tegangan sistem tertinggi dari jaringan distribusi MJO 8 adalah 21 KV. Tegangan pengenal *arrester* menjadi :

Tegangan maksimum sistem :

$$V_{Max} = V_{Nominal} \times 1,1 \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$= 21 \text{ kV} \times 1,1$$

$$V_{Max} = 23,1 \text{ kV}$$

Tegangan Pengenal *Arrester*

$$\begin{aligned} V_p &= V_{Max} \times \text{Koefisien Pentanahan} \dots\dots\dots(17) \\ &= 23,1 \text{ kV} \times 0,8 \\ &= 18,48 \text{ kV} \end{aligned}$$

Tegangan pengenalan *arrester* pada jaringan distribusi MJO 8 sebesar 18,48 kV, *rating arrester* yang digunakan sebesar 21 kV. Menurut tabel karakteristik *arrester* maka tegangan percikan impuls maksimum (STD) sebesar 76 kV. Tegangan percikan impuls mula gelombang (FOW) sebesar 88kV. Serta mengacu kepada tabel tegangan kerja *arrester* dapat bekerja hingga batas maksimum pada 76 kV. Tegangan gelombang datang menggunakan standar tegangan gelombang petir yang diasumsikan sebesar 1000 kV

3.4.2 Arus Pelepasan *Arrester*

Arus pelepasan *arrester* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_a = \frac{2U_d - U_a}{Z} \dots\dots\dots(18)$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan kerja } \textit{arrester} (U_a) &= 76 \text{ kV} \\ \text{Tegangan gelombang datang } (U_d) &= 1000 \text{ kV} \\ \text{Impedansi surja } (Z_s) &= 60 \ln \frac{2h}{r} \\ \text{Konduktor yang digunakan} &= \text{AAAC } 1 \times 70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} (Z_s) &= 60 \ln \frac{2h}{r} \\ &= 60 \ln \frac{2 \times 9,00}{4,72 \times 10^2} \\ &= 356,624 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{2U_d - U_a}{Z} \\ &= \frac{2 \times 1000000 - 76000}{356,624} \\ &= 5395 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari hasil ini arus pelepasan *arrester* berada pada 5,395 kA, dan dapat menggunakan *arrester* dengan kelas arus 10 kA.

3.4.3 Faktor Perlindungan

Faktor perlindungan *arrester* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$FP = \frac{TIDtrafo-TP}{TIDtrafo} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(19)$$

Dimana untuk mengetahui TP dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} TP &= V_a \times 1,1 \\ &= 76 \text{ kV} \times 1,1 \\ &= 83,6 \text{ kV} \end{aligned}$$

Maka untuk faktor perlindungan

$$\begin{aligned} FP &= \frac{125-83,6}{125} \times 100\% \\ &= 33,12 \% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan mengenai *arrester* didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel.

Tabel 4 Hasil Perhitungan *Arrester*

Tegangan Kerja	Arus Pelepasan	Faktor Perlindungan
18,48 kV	5,39 kA	33,12%

Berdasarkan tabel perhitungan dan spesifikasi *arrester* yang digunakan pada kenyataannya di lapangan, maka *arrester* masih berada dalam batas normal penggunaan yaitu diatas perhitungan, sehingga masih ada toleransi yang dapat digunakan apabila tegangan maupun arus yang menyambar *arrester* melebihi perhitungan.

3.5 Pengukuran Pentanahan

Pentanahan yang dilakukan pada penyulang MJO 8 dengan menggunakan pentanahan langsung dengan metode elektroda batang yang ditanam pada tanah. Pengukuran pentanahan ini dibantu dengan menggunakan alat *earth tester*.

Berikut adalah hasil pengukuran pentanahan yang dilakukan dengan cara mengambil sampel pada tiang yang pernah tersambar petir dan didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5 Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan

No	Lokasi Tersambar Petir	Hasil Pengukuran
		Tahanan Pentanahan (Ω)
1	BY8-62	5,43
2	BY8-27	8,1
3	BY8-48	6,76

Dari hasil pengukuran pada tiang yang pernah tersambar petir didapatkan hasil yang lebih besar dari Standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) yaitu kurang dari 5 ohm untuk tahanan pentanahan. Hasil tahanan pentanahan di atas 5 ohm tersebut dipengaruhi dari jenis tanah yang mengandung kadar air cukup rendah sehingga hambatan tanahnya tinggi.

4 PENUTUP

Dari hasil penelitian di atas terkait sistem proteksi petir yang digunakan pada penyulang MJO 8 yaitu sebagai berikut :

Pada gangguan sambaran petir secara tidak langsung atau induksi jika tidak menggunakan kawat tanah adalah sebesar 58,71 kali sambaran per 100 km per tahun dan jika menggunakan kawat tanah sebesar 41,74 kali sambaran per 100 km per tahun artinya terdapat penurunan gangguan sebanyak 16,97 % apabila menggunakan kawat tanah.

Pada gangguan sambaran petir secara langsung jika tidak menggunakan kawat tanah adalah sebesar 63,12 kali sambaran per 100 km per tahun, dan jika menggunakan kawat tanah sebesar 30,54 kali sambaran per 100 km per tahun, apabila menggunakan kawat tanah petir akan menyambar kawat tanah sehingga lebih aman terhadap peralatan yang memiliki tegangan. serta tingkat penurunannya sebesar 32,58%

Hasil perhitungan *arrester* yaitu tegangan kerja 18,48 kV dan arus pelepasan 5,395 kA, sedangkan *arrester* yang digunakan adalah tegangan kerja 21 kV dan

arus pelepasan 10 kA, sehingga masih dalam batas aman sesuai standar yaitu diatas tegangan kerja dan diatas arus pelepasan.

Hasil pengukuran menggunakan *earth tester* menunjukkan hasil tahanan pentanahan lebih dari 5 ohm yang dapat diartikan pentanahan tersebut tidak sesuai dengan standar yang ada. Hasil tersebut dipengaruhi oleh jenis tanah yang ada tempat tiang beton ditancapkan untuk jaringan.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah, puji syukur terhadap kehadiran Allah SWT yang telah memberi segenap rahmat dan hidayahNya kepada penulis sehingga diberi kelancaran serta kemudahan dalam mengerjakan dan menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Penulis tidak lupa berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam mengerjakan penelitian tugas akhir ini. Ucapan terimakasih penulis berikan kepada :

1. Ibu, Ayah serta kedua Adik penulis yang selalu memberi doa serta dukungan agar diberi kemudahan dan kelancaran dalam menyelaikan tugas akhir.
2. Bapak Aris Budiman, S.T.,M.T, selaku dosen pembimbing yang membimbing, memberi saran serta motivasi agar menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak dan Ibu dosen teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberi ilmu dan membimbing selama penulis melaksanakan perkuliahan.
4. UKM Karate UMS sebagai keluarga penulis selama menjalani masa perkuliahan, dan sebagai tempat “pelarian” dari dunia perkuliahan.
5. Sahabat Gabah yang sudah menjadi teman sekaligus keluarga seperjuangan yang selalu memberi dukungan serta tempat berbagi cerita selama perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir.
6. “Bapak-Ibu Karate 2017” yang sudah bersedia merima keluh kesah penulis serta menjalani suka-duka selama masa perkuliahan.
7. Teknik elektro angkatan 2017 yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Datsios, Z., Tsovilis, T., & Mikropoulos, P. (2014). Estimation Of The Minimum Shielding Failure Flashover Current For First And Subsequent Lightning Strokes To Overhead Transmission Lines. *Portal Komikacji Naukowej*, 141-150.
- Gunawan, A. I., Nisworo, S., & Trihasto, A. (2020). Sistem Pentanahan Saluran Distribusi 20 kV Terhadap Gangguan Surja Petir. *Theta Omega*, 1-7.
- Hutahuruk, T. (1988). Perhitungan Gangguan Kilat Pada Saluran Udara Tegangan Menengah. *PROCEEDINGS ITB*, 21-47.
- Oktaviani, W. A., & Hati, I. P. (2019). Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah Jaringan SUTM 20 kV Gardu Induk Boom Baru Palembang. *Jurnal PROtek*, 90-95.
- Rahayu, & Ansyori. (2014). Analisa Protekai Petir Pada Gardu Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Rayon Inderalaya. *Mikrotiga*, 1-8.
- Sudarmojo, Y. P. (2017). Studi Sistem Pengaman Saluran Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Terhadap Surja Petir. *erepo.unud.ac.id*, 1-53.